

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA IN
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

(CLASSE DELLE LAUREE SPECIALISTICHE IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO N.38/S)

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DEI TRASPORTI
"L. TOCCHETTI"

ABSTRACT

LA PROGETTAZIONE FUNZIONALE E GEOMETRICA DELLA VIABILITÀ
PER PARCHI EOLICI

RELATORE

Ch.mo Prof. Ing. Gianluca Dell'Acqua

CANDIDATO

Diego de Rosa

Matr.324/219

CORRELATORE

Ing. Mario De Luca

ANNO ACCADEMICO 2011/2012

PREMESSA

Il presente lavoro di Tesi intende fornire, come obiettivo principale, linee guida per la progettazione funzionale e geometrica della viabilità per parchi eolici e, inoltre, evidenziare gli interventi complementari delle infrastrutture viarie a servizio di tali impianti necessari per una corretta implementazione all'interno di un contesto ambientale e territoriale più ampio.

A tal fine, si introduce il concetto che la progettazione e la realizzazione di un'infrastruttura viaria non deve prendere in considerazione solo gli aspetti costruttivi specifici, come la sede stradale e gli interventi necessari, ma soprattutto deve “*pensare*” l'opera inserita nel contesto ambientale e territoriale presente; per questo motivo, la scelta dei vari tracciati deve interessare sia il livello *pianificatorio* che quello *progettuale*, perché una volta individuata l'area interessata dall'installazione degli aerogeneratori, costituenti il parco eolico, sarà opportuno definire l'esatta collocazione dei vari tracciati che devono essere inseriti all'interno del contesto territoriale circostante per uno sviluppo razionale del reticolo della viabilità extraurbana esistente.

Viabilità per parchi eolici che viene inglobata alle reti stradali minori, queste ultime a tutt'oggi trascurate sotto molteplici fattori a fronte di un ruolo che può definirsi fondamentale per il territorio che da esse viene servito in maniera capillare.

Si spera che in un futuro si possano regolamentare, censire, gestire e sviluppare in maniera adeguata le strade minori e su questa linea si auspica che questo lavoro di Tesi possa essere un utile riferimento per chi intende definire e approfondire le tematiche tecniche e progettuali sulle reti stradali a servizio dei parchi eolici.

Strade a servizio dei parchi eolici che possono innestarsi quindi alle infrastrutture viarie minori esistenti ed essere bretelle di collegamento tra diverse zone del territorio e consentire, quindi, un recupero funzionale della viabilità per il miglioramento dell'accessibilità; in questo modo, una valorizzazione delle reti stradali minori, come motore di sviluppo delle attività agro-silvo-pastorali e turistiche del contesto extraurbano in zone montane, dove le strade di servizio dei parchi eolici si collocano.

Il lavoro a monte dell'elaborazione delle linee guida è stato l'analisi di progetti per la realizzazione di vari parchi eolici nel contesto nazionale, dai quali sono state estrapolate le tipologie costruttive comuni e differenziate le varianti di realizzazione delle infrastrutture

viarie a seconda dei mezzi di trasporto eccezionali delle componenti degli aerogeneratori e le condizioni geomorfologiche del territorio presenti.

Parchi eolici che in Italia si localizzano soprattutto lungo gli Appennini e al Sud, dove la risorsa anemologica è più cospicua, ed in particolar modo in Sicilia, Puglia e Campania; la maggior parte delle installazioni riguardano siti montani sul crinale appenninico e ciò costituisce una peculiarità rispetto ai paesi del Nord Europa, dove le applicazioni eoliche hanno interessato ed interessano tuttora aree in genere pianeggianti.

Quindi, nel nostro territorio la localizzazione dei parchi eolici è individuata, vista la presenza di vento forte, ma soprattutto costante, in zone montane, dove l'accesso risulta difficoltoso, e le infrastrutture viarie presenti non collegano direttamente le zone adibite all'installazione dei vari aerogeneratori. Per ovviare a questi problemi di viabilità si sono costruite nuove strade capaci di adattarsi all'orografia del territorio per collegare gli aerogeneratori a strade preesistenti, in prossimità dei limiti territoriali del parco eolico.



Immagine: Parco eolico e relativa viabilità interna di collegamento.

Secondo la *classifica geomorfologica delle strade*, che le suddivide in strade di pianura, di collina e di montagna, si definisce strada di montagna una qualunque strada che attraversa un territorio ortograficamente tormentato e complesso dove risulta evidente che la progettazione geometrica secondo le normative e i criteri progettuali può condurre a soluzioni estremamente onerose.

Per questi motivi, la costruzione di strade di montagna non sono vincolate ai criteri e alle prescrizioni introdotte dalla nuova Normativa Stradale (D.M.5/11/2001); infatti, nel primo capitolo delle “*Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade*” [CNR, D.M.5/11/2001 G.U.4/1/2002 S.O. serie generale] è definito quanto segue:

“Le norme di questo testo si riferiscono alla costruzione di tutti i tipi di strade previste dal Codice, con esclusione di quelle di montagna collocate su terreni morfologicamente difficili, per le quali non è generalmente possibile il rispetto dei criteri di progettazione di seguito previsti”.

Per le strade di montagna, infatti, vengono considerati gli aspetti relativi alla possibilità di circolazione dei veicoli pesanti su tracciati con forte pendenze e all'iscrizione dei veicoli particolarmente ingombranti nelle curve planimetriche di raggio modesto.

La viabilità a servizio dei parchi eolici costituita dalle strade di accesso degli impianti realizzate negli ultimi anni presenta spesso una serie di carenze che, oltre a costituire dei limiti al loro utilizzo, comportano anche elevati costi di tipo ambientale in termini di fenomeni di dissesto, erosioni superficiali e frane.

La limitata disponibilità finanziaria che è in genere destinata a questo tipo di infrastrutture di collegamento rispetto all'intero budget speso per l'installazione degli aerogeneratori del parco eolico, comporta la necessità di contenere i costi di costruzione, ed ha come conseguenza quella di ridurre al minimo lo sviluppo lineare dei tracciati, accettare elevate pendenze longitudinali dettate dalla morfologia del terreno e di limitare l'impiego di opere di mitigazione. Il contenimento dei costi comporta in particolare il voler sviluppare la viabilità di accesso al parco eolico con l'allargamento e l'adeguamento di carrarecce e mulattiere, destinate nel passato al transito pedonale e del bestiame, aventi pendenze superiori al 10-12%.

Attualmente, in materia di viabilità a servizio degli impianti eolici vi è un elevato grado di incertezza, sia per quanto concerne i criteri tecnici progettuali e le modalità realizzative, che per gli aspetti amministrativi e gestionali che fino ad oggi sono state di competenza della società responsabile del progetto.

Proprio per cercare di evitare questi problemi molte amministrazioni chiedono ormai norme di riferimento per regolamentare queste strade e hanno volto l'interesse nel trasformarle da strade di servizio, destinate alla manutenzione degli impianti eolici, a strade locali da innestare alla viabilità esistente per consentire l'accesso ad ampie porzioni del territorio non facilmente raggiungibili e innescare un processo di crescita economica con attività connesse al turismo rurale, ambientale e tecnologico.

ELABORAZIONE DATI

La fase centrale di acquisizione ed elaborazione dati è consistita nel catalogare i dati dei vari progetti di parchi eolici a disposizione creando un database generale con i parametri fondamentali per un'analisi complessiva delle metodologie di progettazione funzionale e geometrica adottate. Su questa linea è stata studiata la progettazione geometrica, considerando le varie strade di accesso e di collegamento interne ai parchi, e le tipologie di trasporto delle componenti degli aerogeneratori installati diversi per dimensione e peso.

I dati progettuali così analizzati sono stati categorizzati per ogni tratto stradale secondo le specifiche dei progetti e una sintesi dei risultati è riportata nella tabella seguente:

| Tratto | Caratteristiche Generali | | | | Planimetrico | | Altimetrico | | Sezione Trasversale | | | | | |
|-----------|--------------------------|------------|-------------|-----------------|--------------|------------------|-------------|-------------|---------------------|--------------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------|
| | N° | Lungh. (m) | Disliv. (m) | Pend. media (%) | Largh. (m) | Raggio Curve (m) | | Pend. i (%) | | Pend. trasv. q (%) | | Tipologia costruttiva della sezione - Estensione in percentuale rispetto all'intero tratto (%) | | |
| | | | | | min | MAX | min | MAX | min | MAX | And. Naturale | Rilevato | Mezza Costa | Trincea |
| tratto 1 | 168,3 | 1,7 | 1,0% | 5,0 | 35,0 | 35,0 | 1,5% | 7,0% | 0,0% | 2,5% | 68% | 0% | 0% | 32% |
| tratto 2 | 369,6 | 3,2 | 0,9% | 5,0 | 35,0 | 35,0 | 1,5% | 12,0% | 0,0% | 2,5% | 6% | 24% | 70% | 0% |
| tratto 3 | 265,0 | 2,6 | 1,0% | 5,0 | 35,0 | 45,0 | 2,0% | 4,7% | 0,0% | 2,5% | 2% | 0% | 98% | 0% |
| tratto 4 | 312,5 | 13,9 | 4,4% | 5,0 | 35,0 | 45,0 | 2,0% | 12,0% | 0,0% | 2,5% | 32% | 64% | 0% | 4% |
| tratto 5 | 360,9 | 20,4 | 5,7% | 5,0 | 30,0 | 40,0 | 1,5% | 10,0% | 0,0% | 3,0% | 3% | 56% | 23% | 18% |
| tratto 6 | 625,1 | 23,4 | 3,7% | 5,0 | 30,0 | 40,0 | 1,5% | 11,5% | 0,0% | 3,0% | 24% | 20% | 45% | 11% |
| tratto 7 | 426,5 | 12,5 | 2,9% | 5,0 | 35,0 | 45,0 | 2,0% | 12,0% | 2,0% | 2,0% | 24% | 12% | 21% | 43% |
| tratto 8 | 459,3 | 32,4 | 7,1% | 5,0 | 35,0 | 40,0 | 2,0% | 11,9% | 2,0% | 2,0% | 9% | 62% | 0% | 29% |
| tratto 9 | 652,3 | 12,5 | 1,9% | 5,0 | 25,0 | 45,0 | 2,0% | 9,5% | 2,0% | 2,0% | 5% | 10% | 23% | 62% |
| tratto 10 | 2004,0 | 56,2 | 2,8% | 4,5 | 25,0 | 45,0 | 2,0% | 11,5% | 2,0% | 2,0% | 11% | 13% | 56% | 20% |
| tratto 11 | 125,6 | 1,6 | 1,3% | 4,5 | 25,0 | 30,0 | 1,0% | 3,5% | 2,0% | 2,0% | 6% | 14% | 54% | 26% |
| tratto 12 | 265,0 | 2,5 | 0,9% | 4,5 | 25,0 | 30,0 | 1,0% | 5,5% | 2,0% | 3,0% | 52% | 17% | 14% | 17% |
| tratto 13 | 1365,0 | 64,5 | 4,7% | 4,5 | 20,0 | 40,0 | 1,0% | 10,5% | 2,0% | 3,0% | 35% | 44% | 0% | 21% |
| tratto 14 | 125,2 | 2,5 | 2,0% | 4,5 | 20,0 | 25,0 | 1,0% | 2,4% | 0,0% | 2,5% | 32% | 32% | 0% | 36% |
| tratto 15 | 547,3 | 20,2 | 3,7% | 5,0 | 30,0 | 40,0 | 1,0% | 6,5% | 0,0% | 2,5% | 24% | 10% | 62% | 4% |
| tratto 16 | 695,2 | 25,3 | 3,6% | 5,0 | 30,0 | 40,0 | 1,5% | 9,5% | 0,0% | 2,5% | 19% | 3% | 49% | 29% |
| tratto 17 | 1298,3 | 36,2 | 2,8% | 5,0 | 25,0 | 45,0 | 1,5% | 10,6% | 0,0% | 2,5% | 12% | 14% | 71% | 3% |
| tratto 18 | 325,1 | 10,2 | 3,1% | 5,0 | 25,0 | 35,0 | 1,5% | 5,9% | 0,0% | 2,5% | 75% | 2% | 23% | 0% |
| tratto 19 | 214,0 | 3,0 | 1,4% | 4,5 | 20,0 | 35,0 | 1,0% | 4,6% | 2,0% | 3,0% | 26% | 9% | 41% | 24% |
| tratto 20 | 265,9 | 2,6 | 1,0% | 4,5 | 20,0 | 25,0 | 1,0% | 3,4% | 2,0% | 3,0% | 24% | 16% | 39% | 21% |
| tratto 21 | 254,0 | 4,9 | 1,9% | 5,0 | 25,0 | 30,0 | 2,0% | 5,6% | 2,5% | 2,5% | 10% | 26% | 27% | 37% |
| tratto 22 | 654,0 | 9,5 | 1,5% | 5,5 | 25,0 | 35,0 | 2,0% | 9,4% | 2,5% | 2,5% | 45% | 23% | 32% | 0% |
| tratto 23 | 325,4 | 2,7 | 0,8% | 5,0 | 35,0 | 40,0 | 1,5% | 6,4% | 2,5% | 2,5% | 56% | 14% | 6% | 24% |
| tratto 24 | 128,5 | 1,5 | 1,2% | 5,0 | 25,0 | 25,0 | 1,0% | 2,9% | 2,5% | 2,5% | 75% | 2% | 10% | 13% |
| tratto 25 | 139,4 | 1,2 | 0,9% | 4,5 | 25,0 | 25,0 | 1,0% | 1,9% | 2,0% | 3,0% | 79% | 7% | 0% | 14% |
| tratto 26 | 269,4 | 6,2 | 2,3% | 5,5 | 25,0 | 25,0 | 1,5% | 3,5% | 2,0% | 3,0% | 42% | 26% | 32% | 0% |
| tratto 27 | 652,4 | 19,5 | 3,0% | 5,0 | 25,0 | 30,0 | 2,0% | 10,2% | 2,0% | 2,5% | 74% | 1% | 1% | 24% |
| tratto 28 | 321,2 | 14,2 | 4,4% | 5,0 | 25,0 | 30,0 | 1,5% | 7,4% | 0,0% | 2,5% | 12% | 72% | 0% | 16% |
| tratto 29 | 326,4 | 12,2 | 3,7% | 5,5 | 25,0 | 30,0 | 1,0% | 6,1% | 0,0% | 2,5% | 3% | 69% | 0% | 28% |
| tratto 30 | 124,4 | 1,5 | 1,2% | 5,5 | 25,0 | 30,0 | 1,0% | 2,9% | 2,0% | 2,5% | 24% | 3% | 11% | 62% |

| RIEPILOGO | Lungh. (m) | Disliv. (m) | Pend. media (%) | Largh. (m) | Raggio Curve min (m) | Raggio Curve MAX (m) | Pend. i min (%) | Pend. i MAX (%) | Pend. trasv. q min (%) | Pend. trasv. q MAX (%) | And. Naturale (%) | Rilevato (%) | Mezza Costa (%) | Trincea (%) |
|----------------------|------------|-------------|-----------------|------------|----------------------|----------------------|-----------------|-----------------|------------------------|------------------------|-------------------|--------------|-----------------|-------------|
| SINTESI MEDIA | 468,8 | 14,0 | 2,6% | 4,9 | 27,7 | 35,3 | 1,5% | 7,4% | 1,2% | 2,6% | 30,3% | 22,2% | 26,9% | 20,6% |

Tabella: Sintesi database delle caratteristiche geometriche della viabilità dei parchi eolici.

Per quanto riguarda le modalità di trasporto sono stati confrontati i parametri indicati da alcune tra le più grandi aziende multinazionali costruttrici di aerogeneratori e catalogati in base alla potenza. In questa maniera è stato possibile individuare una differenza di modalità di trasporto per aerogeneratori di potenza totale rispettivamente fino a 1MW, 2MW e 3MW determinati dalla lunghezza delle pale del rotore che risultano essere sempre gli elementi più ingombranti e non sezionabili.

| Descrizione | 1MW | 2MW | 3MW |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|
| <i>Larghezza sede stradale</i> | 4m | 4,5m | 5m |
| <i>Pendenza massima</i> | 14% | 14% | 14% |
| <i>Pendenza trasversale massima</i> | 3,50% | 3,00% | 2,50% |
| <i>Raggio longitudinale minimo</i> | 200m | 200m | 200m |
| <i>Raggio interno minimo</i> | 10m | 12m | 12,5m |
| <i>Raggio esterno minimo</i> | 18m | 20m | 25m |
| <i>Allargamento carreggiata raggio esterno – di innesto alla strada di servizio</i> | 35m | 40m | 45m |
| <i>Allargamento carreggiata raggio esterno – di innesto alla strada pubblica esistente</i> | 30m | 35m | 40m |
| <i>Lunghezza totale mezzo eccezionale per trasporto pale</i> | 25m | 35m | 45m |

Tabella: Schema database delle caratteristiche per il trasporto delle componenti per tipo di aerogeneratore.

| Tabella riepilogativa normativa stradale | | | | Pendenza i min | Pendenza trasv. q max | Larghezza sede stradale min (m) | Raggio min (m) | Pendenza livellette max |
|-------------------------------------------------|----------|--------------------|-------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Autostrada | A | <i>Extraurbano</i> | strada principale | 2,50% | 7,00% | 7,50 | 339 | 5% |
| | | <i>Urbano</i> | strada principale | 2,50% | 7,00% | 7,50 | 252 | 6% |
| Extraurbana principale | B | <i>Extraurbano</i> | strada principale | 2,50% | 7,00% | 7,50 | 178 | 6% |
| Extraurbana secondaria | C | <i>Extraurbano</i> | C1 | 2,50% | 7,00% | 7,50 | 118 | 7% |
| | | <i>Extraurbano</i> | C2 | 2,50% | 7,00% | 7,00 | 118 | 7% |
| Urbana di scorrimento | D | <i>Urbano</i> | strada principale | 2,50% | 5,00% | 6,50 | 77 | 6% |
| Urbana di quartiere | E | <i>Urbano</i> | | 2,50% | 3,50% | 6,00 | 51 | 8% |
| Locale | F | <i>Extraurbano</i> | | 2,50% | 7,00% | 6,50 | 45 | 10% |
| | | <i>Urbano</i> | | 2,50% | 3,50% | 5,50 | 19 | 10% |

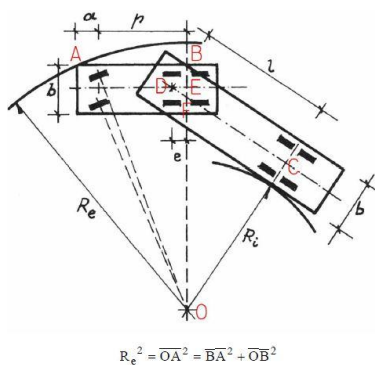
Tabella: Tabella riepilogativa delle caratteristiche geometriche delle varie categorie di strada secondo la normativa del nuovo codice della strada.

Dunque, confrontando i parametri di progetto della viabilità interna al parco eolico e le caratteristiche dei mezzi eccezionali per il trasporto delle pale (componente di riferimento, data la lunghezza massima che può raggiungere il convoglio) è risultato evidente che l'iscrizione del mezzo in curva determina il vincolo principale per garantire il passaggio del convoglio.

In considerazione di ciò è stato riscontrato come non risultino problemi di trasporto nell'utilizzo di strade dalla categoria A alla C, mentre per le strade locali di tipo F, particolare attenzione si deve volgere alla larghezza della strada e ai raggi in curva. Quindi, si è andati ad approfondire in maniera puntuale l'iscrizione dei mezzi eccezionali in curva e si è dedotto un algoritmo di calcolo per l'individuazione dei parametri minimi necessari per il passaggio degli stessi.

| | Confronto trasporti standard ed eccezionali con relativa geometria in curva | Trasporti standard | | Trasporti eccezionali in fase di strade di cantiere | | | | | |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------|---------------------------------------------------------------------|------------|---------------------------------------------------------------------|------------|---------------------------------------------------------------------|------------|
| | | <i>autoarticolato dimensioni standard</i> | | <i>autoarticolato per trasporto aerogeneratore potenza < 1MW</i> | | <i>autoarticolato per trasporto aerogeneratore potenza < 2MW</i> | | <i>autoarticolato per trasporto aerogeneratore potenza < 3MW</i> | |
| | | Raggio 20m | Raggio 35m | Raggio 20m | Raggio 35m | Raggio 20m | Raggio 35m | Raggio 20m | Raggio 35m |
| | <i>Specifiche trasporto e geometria (m)</i> | | | | | | | | |
| INPUT: DATI DI TRASPORTO E RAGGIO CURVA | Lunghezza trattore (a+p) | 5,10 | 5,10 | 5,10 | 5,10 | 5,10 | 5,10 | 5,10 | 5,10 |
| | Ampiezza gancio-asse (e) | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,90 |
| | Larghezza autoarticolato (b) | 2,50 | 2,50 | 3,00 | 3,00 | 3,50 | 3,50 | 4,00 | 4,00 |
| | Lunghezza rimorchio (l) | 8,50 | 8,50 | 18,00 | 18,00 | 22,00 | 22,00 | 26,00 | 26,00 |
| | Raggio curva interno (Ri) | 20,00 | 35,00 | 20,00 | 35,00 | 20,00 | 35,00 | 20,00 | 35,00 |
| | Lunghezza materiale trasportato | 8,50 | 8,50 | 25,00 | 25,00 | 35,00 | 35,00 | 45,00 | 45,00 |
| OUTPUT: CALCOLO GEOMETRIA IN CURVA | Fuoriuscita da rimorchio | 0,00 | 0,00 | 7,00 | 7,00 | 13,00 | 13,00 | 19,00 | 19,00 |
| | Raggio curva esterno (Re) | 24,65 | 38,81 | 29,96 | 42,49 | 33,07 | 44,86 | 36,41 | 47,49 |
| | Fascia di occupazione | 2,15 | 1,31 | 6,96 | 4,49 | 9,57 | 6,36 | 12,41 | 8,49 |
| | Larghezza sede stradale min. in curva | 4,65 | 3,81 | 9,96 | 7,49 | 13,07 | 9,86 | 16,41 | 12,49 |
| | Raggio area esterna da sgomberare | 24,65 | 38,81 | 34,84 | 46,02 | 43,25 | 52,74 | 52,33 | 60,47 |
| | Larghezza esterna area libera | 0,00 | 0,00 | 4,87 | 3,52 | 10,18 | 7,88 | 15,93 | 12,98 |

Tabella: Sintesi dei parametri di lunghezza dei mezzi di trasporto calcolati nel caso standard ed eccezionali (suddivisi per classe di potenza).



Si è ottenuta la larghezza della sede stradale in relazione al raggio della curva stessa tutto ciò riferito poi alla classe di potenza dell'aerogeneratore da trasportare. Allo scopo di consentire la sicura iscrizione dei mezzi di trasporto delle componenti degli aerogeneratori, in particolar modo del trasporto delle pale, con lunghezza variabile mediamente tra i

20 e i 45m rispettivamente per aerogeneratori da 1 a 3MW di potenza, è necessario che nelle curve l'intera sede stradale, composta in fase di cantiere da un'unica corsia, sia dimensionata con misure minime determinate dal diagramma seguente:

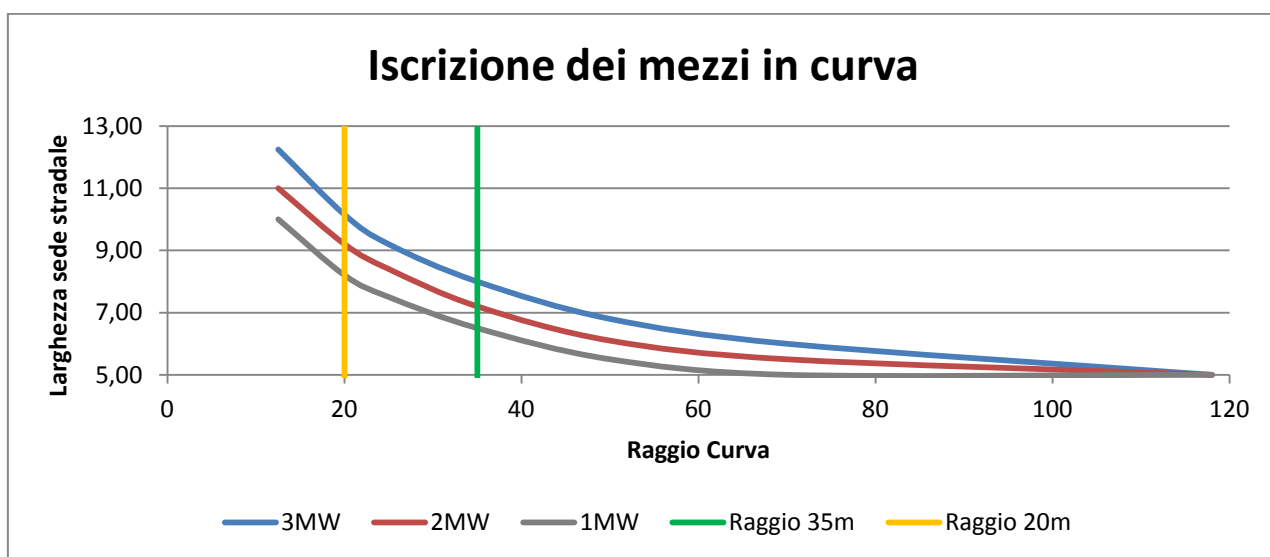


Grafico: Rappresentazione dei valori geometrici per l'individuazione delle condizioni minime dell'iscrizione in curva dei mezzi eccezionali di trasporto delle pale dell'aerogeneratore.

Infine, si è elaborato un grafico per correlare la potenza degli aerogeneratori coi raggi minimi; sono stati riportati in blu, quelli indicati dalle aziende multinazionali per le modalità di trasporto e in rosso quelli estrapolati dall'analisi dei progetti a disposizione. Si può notare come il raggio minimo vada aumentando con la potenza dell'aerogeneratore relativo e che per stessa potenza risultino diversi valori di raggio determinati da differenti caratteristiche dimensionali. Per valori di potenza inferiori ad 1MW, la pratica adottata nei progetti analizzati è cautelativa nella progettazione della viabilità, visto che il raggio minimo progettato risulta essere superiore ai 20m a differenza anche delle indicazioni fornite delle aziende costruttrici con raggi minimi di anche 12,5m per aerogeneratori di 0,8MW.

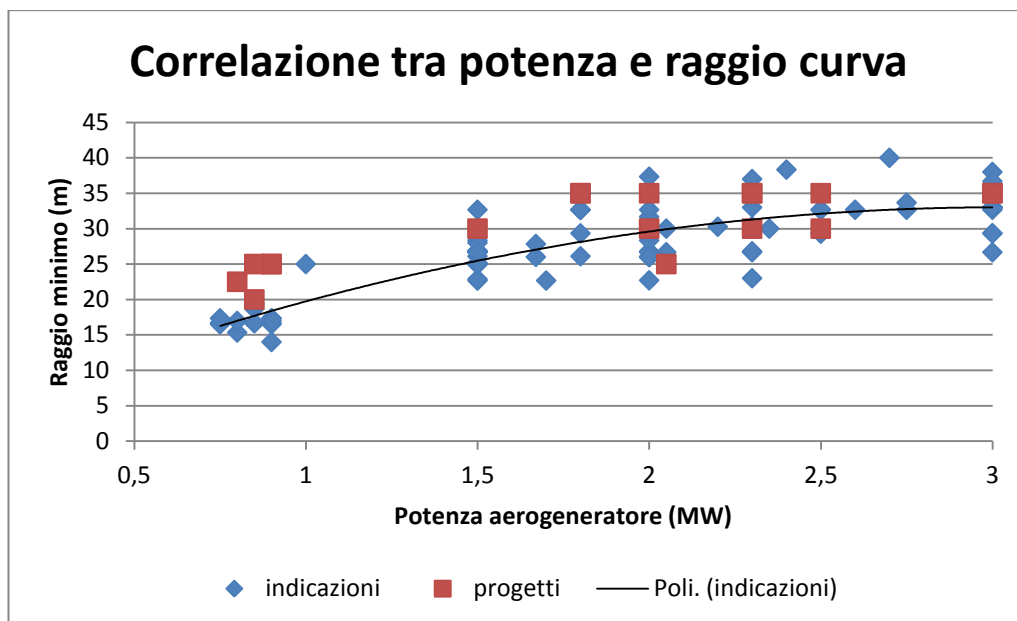


Fig.3.12: Correlazione tra potenza dell'aerogeneratore e il raggio minimo indicato dalle aziende per il trasporto (in blu) e dedotto dai progetti analizzati (in rosso).

Infine, in considerazione dello sviluppo tecnologico e metodologico dei mezzi di trasporto delle componenti degli aerogeneratori, e della discreta esperienze accumulata dalle aziende operanti nel settore, si ritiene che, come desumibile, la natura ed il tipo della serie di interventi di adeguamento della viabilità pubblica non preveda importanti od onerose opere di realizzazione con significativi impatti. Si tratta di una serie di interventi locali e puntuali, che concordemente con le prescrizioni degli Enti competenti, inducono un generale miglioramento ed adeguamento della viabilità esistente agli standard attuali, con generali benefici per tutti gli utenti delle strade interessate.

Di seguito è riportato a titolo di esempio un intervento tipo di adeguamento di una strada preesistente; strada che è stata soggetta ad ampliamento e adeguamento del manto stradale e migliorata nella stratigrafia per sostenere al meglio il carico dovuto al passaggio degli automezzi.



Immagini: Strada esistente con adeguamento di entrambi i margini - da 4m a 5m - (stato di fatto e di progetto)

PROPOSTA LINEE GUIDA

Attualmente la *classificazione funzionale e geometrica delle strade* prevista dal Codice della Strada non affronta in maniera dettagliata tutte le categorie di infrastrutture viarie minori esistenti in ambito locale (categoria di tipo F), infrastrutture che compongono circa il 60% dell'intera rete stradale nazionale.

Per ovviare a questo problema, già nella pratica corrente, alcune amministrazioni hanno distinto in più livelli le strade locali di tipo F, così da gerarchizzare la propria rete e distinguere in vari livelli l'intero tessuto infrastrutturale presente nel proprio territorio, in modo tale da individuare, in funzione delle loro caratteristiche, varie tipologie di strade minori, tra le quali rientrano anche le strade di accesso agli impianti eolici.

Con l'intento di fornire una differenziazione di viabilità per parchi eolici in base al risultato finale da raggiungere e, conseguentemente, al livello di pianificazione e progettazione da perseguire si sono individuati tre livelli di viabilità:

- Viabilità di servizio al parco eolico;
- Viabilità turistica ciclopedonale;
- Viabilità panoramica.

Con la prima si individua una viabilità strettamente necessaria alla costruzione degli aerogeneratori, con l'implementazione di strade di cantiere per il passaggio dei mezzi eccezionali per il trasporto delle componenti e, successivamente, con l'adeguamento della pavimentazione stradale, per il solo passaggio dei mezzi per la manutenzione dell'intero parco eolico e ottenere dunque strade di esercizio.

Con la viabilità turistica ciclopedonale, invece, si intende ottenere come risultato finale una rete di strade di accesso e di collegamento tra i vari aerogeneratori del parco eolico destinate, non solo alla manutenzione, ma anche al turismo ciclopedonale.

Infine, con la viabilità panoramica si vuole identificare una rete stradale idonea al passaggio dei mezzi tradizionali per ottenere la massima fruibilità delle infrastrutture viarie, non solo a servizio degli aerogeneratori, ma anche e soprattutto per una migliore accessibilità alle aree rurali ed essere driver di crescita delle attività produttive locali.

Seguendo queste indicazioni sono evidenziate le caratteristiche geometriche principale nella tabella seguente:

| Caratteristiche geometriche | | Viabilità di servizio al parco eolico | | | Viabilità turistica ciclopedonale | | | Viabilità panoramica | | |
|----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|------|-----|-----------------------------------|------|-----|----------------------|------|-----|
| | | 1MW | 2MW | 3MW | 1MW | 2MW | 3MW | 1MW | 2MW | 3MW |
| | <i>potenza aerogeneratore</i> | | | | | | | | | |
| larghezza piattaforma | Cantiere | 5m | 5,5m | 6m | 5m | 5,5m | 6m | 5m | 5,5m | 6m |
| | Esercizio | 3m | | | 4m | | | 5m | | |
| Pendenza | Media ottimale | 8% | | | 5% | | | 3% | | |
| | Media massima | 10% | | | 8% | | | 6% | | |
| | Massima per brevi tratti | 14% | | | 12% | | | 10% | | |
| | Contropendenza massima | 10% | | | 10% | | | 10% | | |
| Raggio minimo delle curve | | 25m | 30m | 35m | 25m | 30m | 35m | 25m | 30m | 35m |

Tabella: Caratteristiche geometriche principali della viabilità per parchi eolici.

Su questa linea sono state quindi elaborate le linee guida della viabilità per parchi eolici che vanno ad esplicitare i criteri progettuali da rispettare, partendo dalla scelta del tracciato, alle caratteristiche geometriche da rispettare fino alla descrizione degli elementi costitutivi dello spazio stradale; è stata focalizzata l'attenzione sulla larghezza della sede stradale e l'iscrizione in curva dei mezzi di trasporto eccezionali, con i valori minimi da rispettare a seconda della potenza dell'aerogeneratore; indicazioni sulle pendenze trasversali e longitudinali, sul sottofondo e sulla pavimentazione stradale adottabili a seconda delle condizioni geomorfologiche del terreno. Inoltre, sono state fornite linee guida sulle opere complementari da eseguire, come canalette trasversali, piazzole di scambio e interventi di ingegneria naturalistica per la stabilità delle scarpate laterali.

CONCLUSIONI

Lo studio della viabilità dei parchi eolici riveste un ruolo fondamentale nella progettazione degli stessi; infatti, si deve prefissare come obiettivo primario quello di inserire in maniera corretta l'intero parco eolico, comprensivo delle strade di servizio per l'accesso agli aerogeneratori, all'interno del contesto territoriale ed evitare impatti ambientali nocivi all'ecosistema presente.

Su questa linea vi è un approfondimento presentato nel seguente lavoro di tesi volto a studiare le problematiche di costruzione delle nuove strade in condizioni morfologiche difficili, all'adeguamento delle strade esistenti (per consentire l'accesso ai mezzi dedicati al trasporto degli aerogeneratori) e al possibile utilizzo delle strade di accesso all'interno di un contesto generale di viabilità locale. Strade di accesso dei parchi eolici che possono trasformarsi in strade turistico-panoramiche da innestare alle infrastrutture viarie esistenti e consentire oltre a nuovi percorsi, uno sviluppo territoriale fondato sul miglioramento delle condizioni ambientali.

Con il presente lavoro di tesi si è pertanto dato un contributo alla:

- ❖ definizione dei parametri progettuali della viabilità per parchi eolici;
- ❖ definizione di una metodologia di categorizzazione ed elaborazione dei dati funzionali e geometrici della viabilità per parchi eolici;
- ❖ omogeneizzazione dei parametri delle modalità di trasporto dei mezzi eccezionali delle componenti degli aerogeneratori;
- ❖ analisi dei risultati ottenuti dalle elaborazioni, con particolare riguardo all'individuazione di un criterio base per individuare le condizioni minime di iscrizione dei mezzi in curva a seconda della potenza dell'aerogeneratore da trasportare;
- ❖ proposta di linee guida generali della viabilità per parchi eolici come riferimento da seguire per la progettazione.

In definitiva, l'elaborazione dei dati acquisiti dai progetti dei parchi eolici a disposizione è iniziata con un'analisi dei parametri chiave, quali quelli funzionali e geometrici

(dati planimetrici, altimetrici, di sezione), per valutarne successivamente le caratteristiche tecniche costruttive adottate nel nostro contesto territoriale.

Quindi, si è passati ad analizzare le modalità di trasporto delle componenti degli aerogeneratori, evidenziando le indicazioni dettate dalle aziende costruttrici, per omogeneizzare, vista la molteplicità di impianti, le caratteristiche comuni e classificarle secondo la potenza erogata.

I risultati delle elaborazioni e dei confronti effettuati sono stati valutati secondo le principali finalità del progetto quali l'impatto sulla viabilità esistente e sull'inserimento delle nuove infrastrutture nel territorio, rapportando il tutto alla normativa di riferimento del nuovo codice della strada, volgendo particolare attenzione al contesto della viabilità minore.

Come risultato conclusivo si è giunti alla stesura delle linee guida per sintetizzare le indicazioni progettuali funzionali e geometriche dell'intera viabilità a servizio dei parchi eolici in fase di cantiere e la trasformazione della stessa in una rete stradale destinata alla fruizione non solo alle attività di manutenzione dell'impianto, ma soprattutto a tutte le componenti di traffico, migliorando collegamenti e accessibilità.

Infine, i risultati del lavoro presentano alcuni collegamenti che si prestano a studi ed elaborazioni successive:

- ❖ ulteriori approfondimenti sulla viabilità per parchi eolici, in particolar modo alla struttura del fondo, sottofondo e pavimentazione stradale;
- ❖ valutazione della stabilità e degli impatti ambientali delle infrastrutture viarie in zone montane;
- ❖ valutazione dei benefici ottenuti da un migliore controllo della viabilità locale e relativa manutenzione stradale;
- ❖ analisi economica dei benefici ottenuti dalle comunità locali da una migliore viabilità in prossimità dei parchi eolici.

Concludendo, lo sviluppo diffuso sul territorio nazionale dell'eolico, quindi, può collegarsi in maniera stretta con lo sviluppo locale e può esserne un driver, ma occorre innanzitutto che il territorio sia considerato come un giacimento patrimoniale a molti livelli collegato in maniera ottimale da una viabilità minore adeguata.

Oggi, è possibile partire dalle grandi aree metropolitane e avventurarsi nelle aree rurali alla scoperta di luoghi di interesse storico, artistico, ambientale, e la creazione di “*Strade del Vento*”, può essere uno spunto ulteriore per far sì di valorizzare percorsi interni, longitudinali e trasversali che seguono o incrociano le dorsali appenniniche e pre-appenniniche soprattutto nel meridione. Itinerari che possono riservare grandi sorprese dal punto di vista paesaggistico e che possono far conoscere le potenzialità di sviluppo di questi territori. Un intervento di questo tipo potrebbe contribuire a dare impulso a una zona a tradizionale vocazione rurale non più attraverso le sue produzioni agricole tipiche, ma attraverso la scoperta delle sue potenzialità energetiche, che sfruttano un elemento altamente caratterizzante di questi luoghi: *il vento*.



Immagine: Parco eolico con viabilità adeguata alla fruizione turistica con rinverdimento della superficie laterale dei percorsi e delle piazzole degli aerogeneratori.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Altura, CNP, Italia Nostra, Mountain Wilderness, LIPU Puglia, OLA – *L'eolico in Italia, dossier istruttorio sulla reale dinamica della proliferazione di impianti eolici in Italia, Aprile 2007*

Associazione mondiale della strada (XXVI Convegno Nazionale Stradale AIPCR) – *Sviluppo e gestione della viabilità extraurbana minore e rurale in Italia: situazione attuale, criticità e prospettive*

Enercon – *Technical Description*

Enercon – *Wind Turbine*

Fulvio Ardente, Marco Beccali, Maurizio Cellura, Valerio Lo Brano – *Energy performances and life cycle assessment of an Italian wind farm*

G. Hippoliti – *Note pratiche per la realizzazione della viabilità minore*

Gamesa Eolica - *Drawings and Specifications of Gamesa Eolica Wind Turbines*

GSE, Gestore dei Servizi Energetici – *Dati statistici a fonti rinnovabili in Italia 6/3/2009*

GSE, Gestore dei Servizi Energetici – *Rapporto Statistico Eolico 2009*

GSE, Gestore dei Servizi Energetici – *Rapporto Statistico 2010 Impianti a fonti rinnovabili*

Legambiente – *Fonti Rinnovabili e Paesaggio, 9 Giugno 2011*

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – *Nuovo Codice della Strada, D.Lgs. 30/04/1992 n.285*

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - *Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade, D.M. 5/11/2001*

Neegan Burnside – *Wind Farm Project Description Report, 2012*

Regione Campania – *Linee Guida per lo svolgimento del procedimento unico relativo alla installazione di impianti per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile sul territorio della regione campania e per il corretto inserimento degli impianti eolici nel paesaggio, Novembre 2006*

Regione Campania – *Programma Operativo Regionale 2000-2006*

Regione Campania – *Infrastrutture connesse allo sviluppo e all'adeguamento dell'agricoltura e della silvicoltura, Programma di Sviluppo Rurale (PSR) 2007-2013*

Regione Lombardia - *Delibera di Giunta 8/8/2003 – Direttiva relativa alla viabilità locale di servizio all'attività agro-silvo-pastorale*

Sètra, Service d'Etudes techniques des routes et autoroutes - *“Comprendre les principaux paramètres de conception géométrique des routes”*

Sètra, Service d'Etudes techniques des routes et autoroutes - *“Amenagement des routes principales, routes en relief difficile”, 1994*

Siemens – *Wind Turbine specification*

Union des professionnels suisses de la route SNV, 64198 Zurigo

Vestas – Road, Crane Pad and Hardstand Specifications for Vestas Turbines

Vestas – Transport Manual

Vestas – Wind System

www.anev.gov ANEV, Associazione Nazionale Energia del Vento

www.deluciagroup.com De Lucia Group trasporti

www.enercon.de Enercon

www.energy.siemens.com Siemens

www.enerlog.eu Enerlog trasporti

www.envisioncn.com Envision

www.ewea.org EWEA, The European Wind Energy Association

www.ewtinternational.com EWT

www.gamesa.it Gamesa Eolica

www.ge-energy.com GE Energy

www.geotrasporti.com GeoTrasporti

www.gse.it GSE, Gestore dei Servizi Energetici

www.it.leitwind.com Leitwind

www.molisanatrasporti.it Molisana trasporti

www.nordex-online.it Nordex

www.powerwind.de Powerwind

www.repower-italia.it Repower Italia

www.rse-web.it RSE, Ricerca Sistema Energetico

www.thewindpower.net The Wind Power Database

www.vestas.com Vestas